

WO 2005/061742

PCT/EP2004/011923

## Hochtemperaturbeständiges Bauteil

Die Erfindung betrifft ein hochtemperaturbeständiges Bauteil aus einer Legierung, insbesondere aus einer Nickel, Kobalt- oder Eisen-Basis-Superlegierung mit Ausscheidungen.

In der DE 23 33 775 B2 ist ein Verfahren zur Wärmebehandlung einer Nickellegierung beschrieben. Die Nickellegierung besteht aus bis zu 0,3 % Kohlenstoff, 11-15 % Chrom, 8-12 % Kobalt, 1-2,5 % Molybdän, 3-10 % Wolfram, 3,5-10 % Tantal, 3,5-4,5 % Titan, 3-4 % Aluminium, 0,005-0,025 % Bor, 0,05-0,4 % Zirkon, Rest Nickel. Weiterhin sind 0,01-3 % Hafnium zusätzlich in der Legierung enthalten. Durch die beschriebene Wärmebehandlung werden eine blockartige Carbid-Ausbildung und eine feindisperse Ausscheidung einer  $Ni_3(Al, Ti)$ -Phase hervorgerufen.

Die US-PS-5,611,670 offenbart eine Laufschaufel für eine Gasturbine. Die Laufschaufel weist einen einkristallinen Plattformbereich und ein einkristallines Schaufelblatt auf. Ein Befestigungsbereich der Schaufel ist mit einer gerichtet erstarrten Struktur ausgeführt. Die Schaufel ist aus einer Superlegierung gegossen, die in Gewichtsprozent folgende Zusammensetzung aufweist: bis zu 0,2 % Kohlenstoff, 5-14 % Chrom, 4-7 % Aluminium, 2-15 % Wolfram, 0,5-5 % Titan, bis zu 3 % Niob, bis zu 6 % Molybdän, bis zu 12 % Tantal, bis zu 10,5 % Kobalt, bis zu 2 % Hafnium, bis zu 4 % Rhenium, bis 0,035 % Bor, bis zu 0,035 % Zirkon und den Rest Nickel. Diese weiten Bereichsangaben dienen der Angabe von Legierungszusammensetzungen, die grundsätzlich für die vorgeschlagene Gasturbinenschaufel geeignet sind, zeigen aber keinen hinsichtlich einer besonderen Oxidations- und Korrosionsbeständigkeit oder Festigkeit geeigneten Zusammensetzungsbereich auf.

In der EP 0 297 785 B1 ist eine Nickel-Basis-Superlegierung für Einkristalle offenbart. Die Superlegierung weist in

- Gewichtsprozent folgende Zusammensetzung auf: 6-15 % Chrom, 5-12 % Wolfram, 0,01-4 % Rhenium, 3-9 % Tantal, 0,5-2 % Titan, 4-7 % Aluminium und optional 0,5-3 % Molybdän. Mit dieser Superlegierung wird sowohl eine
- 5 Hochtemperaturrissfestigkeit als auch eine Korrosionsbeständigkeit erreicht. Um die Korrosionsbeständigkeit nicht zu beeinträchtigen, darf der Titangehalt zwei Gewichtsprozent nicht überschreiten.
- 10 In der US-PS-5,122,206 ist eine Nickel-Basis-Superlegierung angegeben, die eine besonders schmale Koexistenzzone für die feste und flüssige Phase aufweist und damit besonders für einen Einkristallgießprozess geeignet ist. Die Legierung weist in Gewichtsprozent folgende Zusammensetzung auf: 10-30
- 15 % Chrom, 0,1-5 % Niob, 0,1-8 % Titan, 0,1-8 % Aluminium, 0,05-0,5 % Kupfer oder statt Kupfer 0,1-3 % Tantal, wobei im erstgenannten Fall optional auch Hafnium oder Rhenium mit einem Gehalt von 0,05-3 % vorhanden sein kann und im zweiten Fall auch statt Rhenium oder Hafnium 0,05-0,5 % Kupfer.
- 20 Weiterhin können optional 0,05-3 % Molybdän oder Wolfram vorgesehen sein.

- Die WO 01/09403 A1 zeigt eine Nickelbasislegierung mit 11 -13 % Chrom, 3 - 5% Wolfram, 0,5-2,5% Molybdän, 3 - 5% Aluminium
- 25 3 - 5 % Titan, 3 - 7% Tantal, 0 - 12 % Kobalt, 0 - 1% Niob 0 - 2 % Hafnium, 0 - 1% Zirkon, 0 - 0.05% Bor, 0 - 0.2 % Kohlenstoff, 1 - 5% Rhenium, 0 - 5% Ruthenium, Rest Nickel. Die durch Rhenium geförderte Bildung versprödender intermetallischer Phasen (Cr- und/ oder Rhenium-haltige
- 30 Ausscheidungen) führt zu einer Reduzierung der Lebensdauer durch Rissbildung.

- Die US-PS 3,907,555 zeigt eine Legierung, die bis zu 6,5% Zinn enthält. Die Werte von Zinn liegen bei mindestens 1,0
- 35 wt%.

In der US-PS 4,708,848 ist Zinn als Bestandteil einer Ni-Basislegierung aufgelistet, bei der der zulässige Anteil von Zinn kleiner als 25 ppm sein muss. Das bedeutet, dass der Anteil von Zinn eine unerwünschte Verunreinigung darstellt.

5

Die US-PS 6,308,767 zeigt eine Herstellungsmethode von gerichteten Strukturen aus einer Superlegierung, bei der eine Schmelze in einem anderen flüssigen Metall abgekühlt wird. Es ist jedoch sicherzustellen, dass Zinn die Superlegierung nicht kontaminiert. Zinn ist also ein unerwünschter Bestandteil der Legierung.

10

In der US-PS 6,505,673 ist eine Lötlegierung angegeben, die 4,5% Zinn enthält.

15

Entscheidend für die Lebensdauer und die mechanischen Eigenschaften, insbesondere bei hohen Temperaturen sind Ausscheidungen, beispielsweise die  $\gamma'$ -Ausscheidungen bei Superlegierungen, die durch entsprechende Wärmebehandlungen in der Superlegierung nach dem Gießen eingestellt werden.

20

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Bauteil aus einer Legierung, insbesondere aus einer Nickel-, Kobalt- oder Eisen-Basis-Superlegierung anzugeben, das besonders günstige Eigenschaften hinsichtlich einer Hochtemperaturfestigkeit, Oxidations- und Korrosionsbeständigkeit und Stabilität gegen duktilitätsmindernde Bildung intermetallischer Phasen über eine lange Lebensdauer aufweist.

30

Erfindungsgemäß wird die auf ein Bauteil gerichtete Aufgabe gelöst durch Angabe eines hochtemperaturbeständigen Bauteils aus einer Legierung, die zumindest einen Festigkeitsförderer mit einem Anteil von maximal 2000 ppm, insbesondere 1100 ppm aufweist.

35

Hier zeigt insbesondere die Zugabe von Zinn gute Ergebnisse.

Die Festigkeit kann durch einen verfeinerten und hohen Anteil von Ausscheidungen ( $\gamma'$ -Phase) in der Legierung verbessert werden.

5

Besonders vorteilhaft wirkt der Festigkeitsförderer bei einer Nickel-, Kobalt- oder Eisen-Basis-Superlegierung, deren Zusammensetzung im übrigen folgende Elemente in Gewichtsprozent (wt%) umfasst:

10 9 - &lt;11 % Chrom ( 9 bis kleiner 11),

3-5 % Wolfram,

0,5-2,5 % Molybdän,

3-5 %, insbesondere 3- &lt;3,5 % Aluminium (3 bis kleiner 3,5%),

3-5 % Titan,

15 3-7 % Tantal,

0,1-10 % Rhenium und/oder Ruthenium, insbesondere bis 5%,

maximal 2000ppm Festigkeitsförderer,

Rest Nickel, Kobalt oder Eisen und Verunreinigungen.

20 Ebenso vorteilhaft wirkt der Festigkeitsförderer bei einer Nickel-, Kobalt- oder Eisen-Basis-Superlegierung, deren Zusammensetzung im übrigen folgende Elemente in Gewichtsprozent (wt%) umfasst:

11-13 % Chrom,

25 3-5 % Wolfram,

0,5-2,5 % Molybdän,

3-5 % Aluminium,

3-5 % Titan,

3-7 % Tantal,

30 0,1-10 % Rhenium und/oder Ruthenium, insbesondere bis 5%,  
maximal 2000ppm Festigkeitsförderer,

Rest Nickel, Kobalt oder Eisen und Verunreinigungen.

35 Besonders gute Ergebnisse zeigten sich für eine Nickel-Basis-Superlegierung. Die Superlegierung des angegebenen Bauteils ist in ihrer Zusammensetzung erstmalig so spezifiziert, dass für das Bauteil besonders günstige Eigenschaften hinsichtlich

seiner Hochtemperaturfestigkeit, seiner Oxidations- und Korrosionsbeständigkeit und hinsichtlich einer Stabilität gegen die Bildung duktilitätsmindernder intermetallischer Phasen besteht.

5

Über umfangreiche Versuche, die der Erfindung vorausgingen, konnten spezielle Festigkeitsförderer ermittelt werden, mit der die gewünschten, oben genannten Eigenschaften in überraschend hohem Maße erfüllt werden. Insbesondere geht die  
10 Erfindung dabei von einer chromreichen Superlegierung aus.

Ein verfeinerter und hoher Anteil von Ausscheidungen wird durch die Zugabe des Festigkeitsförderers bspw. dadurch erreicht, dass er eine Störung im System darstellt und als  
15 Keimbildner oder Keiminitiator dient, so dass kleine Menge schon ausreichen.

Es bilden sich viele, insbesondere verfeinerte Ausscheidungen.

20 Vorzugsweise beträgt der minimale Gehalt des Ausscheidungsförderers 50 ppm, insbesondere 75 ppm. Er liegt vorzugsweise zwischen 100 und 500 ppm und insbesondere bei 100 ppm.

25 Vorzugsweise enthält die Superlegierung höchstens ein Gewichtsprozent Niob.

Bevorzugtermassen ist in der Superlegierung optional mindestens eines der folgenden Elemente enthalten:

30

0-2 Gew.-% Hafnium,  
0-1 Gew.-% Zirkon,  
0-0,05 Gew.-% Bor,  
0-0,2 Gew.-% Kohlenstoff.

35

Vorteilhafterweise lässt sich auch durch Zugabe von Ruthenium und ohne einen Rheniumgehalt eine besonders hohe

Hochtemperaturfestigkeit erreichen, wobei in der angegebenen Zusammensetzung gleichzeitig die Oxidations-/Korrosionsbeständigkeit ebenfalls hoch ist.

- 5 Bevorzugtermassen ist der Kobaltgehalt der Superlegierung geringer als 12 Gewichtsprozent, während der Niobgehalt bei höchstens einem Gewichtsprozent liegt.

- 10 Insbesondere ist ein Anteil von Kobalt zwischen 6 und 10% und ein Gehalt von Zirkonium zwischen 0 und 0.1% von Vorteil.

- Vorzugsweise weist das Bauteil eine gerichtet erstarrte Kornstruktur auf. In einer solchen gerichtet erstarrten Struktur sind die Korngrenzen im wesentlichen entlang einer Achse ausgerichtet. Damit ergibt sich eine besonders hohe Festigkeit entlang dieser Achse.

- 20 Bevorzugtermassen weist das Bauteil eine einkristalline Struktur auf. Durch die einkristalline Struktur werden festigkeitsmindernde Korngrenzen im Bauteil vermieden und es ergibt sich eine besonders hohe Festigkeit.

- 25 Vorzugsweise ist das Bauteil als eine Gasturbinenleit- oder -läufschaukel ausgebildet. Gerade eine Gasturbinenschaufel ist besonders hohen Anforderungen hinsichtlich einer Hochtemperaturfestigkeit und einer Oxidations-/Korrosionsbeständigkeit ausgesetzt.

- 30 Das Bauteil kann auch ein Teil (Schaufel) einer Dampfturbine oder Flugzeugturbine sein.

Es zeigen:

- Figur 1. eine Schaufel,  
35 Figur 2 eine Gasturbine,  
Figur 3 eine Brennkammer,  
Figur 4 bis 7 Festigkeitswerte.

Die Erfindung wird im folgenden näher erläutert.

- 5    Figur 1 zeigt in perspektivischer Ansicht eine Schaufel 120, 130, die sich entlang einer Längsachse 121 erstreckt.

Die Schaufel 120 kann eine Laufschaufel 120 oder Leitschaufel 130 einer Strömungsmaschine sein. Die Strömungsmaschine kann  
10    eine Gasturbine eines Flugzeugs oder eines Kraftwerks zur Elektrizitätserzeugung, eine Dampfturbine oder ein Kompressor sein.

Die Schaufel 120, 130 weist entlang der Längsachse 121  
15    aufeinander folgend einen Befestigungsbereich 400, eine daran angrenzende Schaufelplattform 403 sowie ein Schaufelblatt 406 auf.

Als Leitschaufel 130 kann die Schaufel an ihrer Schaufelspitze 415 eine weitere Plattform aufweisen (nicht  
20    dargestellt).

Im Befestigungsbereich 400 ist ein Schaufelfuß 183 gebildet, der zur Befestigung der Laufschaufeln 120, 130 an einer Welle oder einer Scheibe dient (nicht dargestellt).

25    Der Schaufelfuß 183 ist bspw. als Hammerkopf ausgestaltet. Andere Ausgestaltungen als Tannenbaum- oder Schwalbenschwanzfuß sind möglich.

Die Schaufel 120, 130 weist für ein Medium, das an dem Schaufelblatt 406 vorbeiströmt, eine Anströmkante 409 und  
30    eine Abströmkante 412 auf.

Bei herkömmlichen Schaufeln 120, 130 werden in allen Bereichen 400, 403, 406 der Schaufel 120, 130 bspw. massive metallische Werkstoffe verwendet.

35    Die Schaufel 120, 130 kann hierbei durch ein Gussverfahren, auch mittels gerichteter Erstarrung, durch ein

Schmiedeverfahren, durch ein Fräsverfahren oder Kombinationen daraus gefertigt sein.

Werkstücke mit einkristalliner Struktur oder Strukturen werden als Bauteile für Maschinen eingesetzt, die im Betrieb  
5 hohen mechanischen, thermischen und/oder chemischen Belastungen ausgesetzt sind.

Die Fertigung von derartigen einkristallinen Werkstücken erfolgt z.B. durch gerichtetes Erstarren aus der Schmelze. Es handelt sich dabei um Gießverfahren, bei denen die flüssige  
10 metallische Legierung zur einkristallinen Struktur, d.h. zum einkristallinen Werkstück, oder gerichtet erstarrt.

Dabei werden dendritische Kristalle entlang dem Wärmefluss ausgerichtet und bilden entweder eine stängelkristalline Kornstruktur (kolumnar, d.h. Körner, die über die ganze Länge  
15 des Werkstückes verlaufen und hier, dem allgemeinen Sprachgebrauch nach, als gerichtet erstarrt bezeichnet werden) oder eine einkristalline Struktur, d.h. das ganze Werkstück besteht aus einem einzigen Kristall. In diesen Verfahren muss man den Übergang zur globulitischen (polykristallinen) Er-  
20 starrung meiden, da sich durch ungerichtetes Wachstum notwendigerweise transversale und longitudinale Korngrenzen ausbilden, welche die guten Eigenschaften des gerichtet erstarrten oder einkristallinen Bauteiles zunichte machen.

25 Ist allgemein von gerichtet erstarrten Gefügen die Rede, so sind damit sowohl Einkristalle gemeint, die keine Korngrenzen oder höchstens Kleinwinkelkorngrenzen aufweisen, als auch Stängelkristallstrukturen, die wohl in longitudinaler Richtung verlaufende Korngrenzen, aber keine transversalen Korngrenzen aufweisen. Bei diesen zweitgenannten kristallinen  
30 Strukturen spricht man auch von gerichtet erstarrten Gefügen (directionally solidified structures).

Solche Verfahren sind aus der US-PS 6,024,792 und der EP  
35 0 892 090 A1 bekannt.

Die Schaufel 120, 130 kann hohl oder massiv ausgeführt sein.



Wenn die Schaufel 120, 130 gekühlt werden soll, ist sie hohl und weist ggf. noch Filmkühlöffcher (nicht dargestellt) auf. Als Schutz gegen Korrosion weist die Schaufel 120, 130 bspw. entsprechende meistens metallische Beschichtungen auf und als  
5 Schutz gegen Wärme meistens noch eine keramische Beschichtung.

Die Turbinenschaufel 120, 130 ist aus einer Nickel, Kobalt-  
10 oder Eisen-Basis-Superlegierung gefertigt, die beispielsweise eine der folgenden Zusammensetzungen aufweist:

- Cr: 10.25%, Mo: 1.85%, W:4.70, Co: 6.50%, Ti: 3.75%, Ta: 3.9%, Al: 3.3%, B: 0.0125%, Zr: 0.008%, Hf: <0.01%, Re: 1.5%, Rest Ni, 1000 ppm Sn.  
15
- Cr: 9.00%, Mo: 1.85%, W:4.70, Co: 6.50%, Ti: 3.75%, Ta: 3.9%, Al: 3.3%, B: 0.0125%, Zr: 0.008%, Hf: <0.01%, Re: 3.5%, Rest Ni, 1900 ppm Sn.
- Cr: 12.75%, Mo: 1.85%, W:4.70, Co: 6.50%, Ti: 3.75%, Ta: 3.9%, Al: 3.3%, B: 0.0125%, Zr: 0.008%, Hf: <0.01%, Re: 1.5%, Ru: 2.0% Rest Ni, 500 ppm Sn.  
20
- Cr: 10.25%, Mo: 1.85%, W:4.70, Co: 8.50%, Ti: 3.75%, Ta: 3.9%, Al: 3.3%, B: 0.0125%, Zr: 0.008%, Hf: <0.01%, Ru: 1.5%, Rest Ni, 900 ppm Zn.
- Cr: 11.75%, Mo: 1.85%, W:4.70, Co: 8.50%, Ti: 3.75%, Ta: 3.9%, Al: 3.3%, B: 0.0125%, Zr: 0.008%, Hf: <0.01%, Ru: 3.75%, Rest Ni, 500 ppm Sn, 500 ppm Zn.  
25
- Cr: 10.25%, Mo: 1.85%, W:4.70, Co: 8.50%, Ti: 3.75%, Ta: 3.9%, Al: 3.3%, B: 0.0125%, Zr: 0.008%, Hf: <0.01%, Re: 2.00%, Ru: 2.5, Rest Ni, 200 ppm Sn.  
30
- Cr: 9.25%, Mo: 1.85%, W:4.70, Co: 6.50%, Ti: 3.75%, Ta: 3.9%, Al: 3.0%, B: 0.0125%, Zr: 0.008%, Hf: <0.01%, Re: 3.5%, Rest Ni, 100 ppm Sn.

35

Weitere Festigkeitsförderer sind beispielsweise Blei (Pb), Gallium (Ga), Kalzium (Ca), Selen (Se), Arsen (As); Wismut

(Bi), Neodym (Nd), Praseodym (Pr), Kupfer (Cu), Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Magnesia ( $\text{MgO}$ ), Hafnia ( $\text{HfO}_2$ ), Zirkonia ( $\text{ZrO}_2$ ), Spinelle ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ), Karbide oder Nitride oder auch Eisen (Fe) in Nickel- oder Kobaltbasierten Superlegierungen.

- 5 Es können auch mehrere Festigkeitsförderer verwendet werden. Die Festigkeitsförderer können metallisch und/oder keramisch sein. Es können verschiedene Festigkeitsförderer aus Metall und/oder Keramik verwendet werden. Die Zugabemenge in ppm bezieht sich immer auf die Gesamtmenge  
10 an Ausscheidungsförderer.

Die Figur 2 zeigt beispielhaft eine Gasturbine 100 in einem Längsteilschnitt.

- 15 Die Gasturbine 100 weist im Inneren einen um eine Rotationsachse 102 drehgelagerten Rotor 103 auf, der auch als Turbinenläufer bezeichnet wird.

- Entlang des Rotors 103 folgen aufeinander ein Ansauggehäuse 104, ein Verdichter 105, eine beispielsweise torusartige  
20 Brennkammer 110, insbesondere Ringbrennkammer 106, mit mehreren coaxial angeordneten Brennern 107, eine Turbine 108 und das Abgasgehäuse 109.

- Die Ringbrennkammer 106 kommuniziert mit einem beispielsweise ringförmigen Heißgaskanal 111. Dort bilden beispielsweise  
25 vier hintereinandergeschaltete Turbinenstufen 112 die Turbine 108.

- Jede Turbinenstufe 112 ist aus zwei Schaufelringen gebildet. In Strömungsrichtung eines Arbeitsmediums 113 gesehen folgt im Heißgaskanal 111 einer Leitschaufelreihe 115 eine aus  
30 Laufschaufeln 120 gebildete Reihe 125.

- Die Leitschaufeln 130 sind dabei an einem Innengehäuse 138 eines Stators 143 befestigt, wohingegen die Laufschaufeln 120 einer Reihe 125 beispielsweise mittels einer Turbinenscheibe  
35 133 am Rotor 103 angebracht sind. An dem Rotor 103 angekoppelt ist ein Generator oder eine Arbeitsmaschine (nicht dargestellt).

Während des Betriebes der Gasturbine 100 wird vom Verdichter 105 durch das Ansauggehäuse 104 Luft 135 angesaugt und verdichtet. Die am turbinenseitigen Ende des Verdichters 105  
5 bereitgestellte verdichtete Luft wird zu den Brennern 107 geführt und dort mit einem Brennmittel vermischt. Das Gemisch wird dann unter Bildung des Arbeitsmediums 113 in der Brennkammer 110 verbrannt.

Von dort aus strömt das Arbeitsmedium 113 entlang des  
10 Heißgaskanals 111 vorbei an den Leitschaufeln 130 und den Laufschaufeln 120. An den Laufschaufeln 120 entspannt sich das Arbeitsmedium 113 impulsübertragend, so dass die Laufschaufeln 120 den Rotor 103 antreiben und dieser die an ihn angekoppelte Arbeitsmaschine.

15 Die dem heißen Arbeitsmedium 113 ausgesetzten Bauteile unterliegen während des Betriebes der Gasturbine 100 thermischen Belastungen. Die Leitschaufeln 130 und Laufschaufeln 120 der in Strömungsrichtung des Arbeitsmediums  
20 113 gesehen ersten Turbinenstufe 112 werden neben den die Ringbrennkammer 106 auskleidenden Hitzeschildsteinen am meisten thermisch belastet.

Um den dort herrschenden Temperaturen standzuhalten, werden diese mittels eines Kühlmittels gekühlt.

25 Ebenso können die Substrate eine gerichtete Struktur aufweisen, d.h. sie sind einkristallin (SX-Struktur) oder weisen nur längsgerichtete Körner auf (DS-Struktur). Als Material werden eisen-, nickel- oder kobaltbasierte Superlegierungen der erfindungsgemäßen Legierung verwendet.  
30 Ebenso können die Schaufeln 120, 130 Beschichtungen gegen Korrosion (MCrAlX; M ist zumindest ein Element der Gruppe Eisen (Fe), Kobalt (Co), Nickel (Ni), X steht für Yttrium (Y) und/oder zumindest ein Element der Seltenen Erden) und Wärme durch eine Wärmedämmschicht aufweisen. Die Wärmedämmschicht  
35 besteht beispielsweise  $ZrO_2$ ,  $Y_2O_3$ - $ZrO_2$ , d.h. sie ist nicht, teilweise oder vollständig stabilisiert durch Yttriumoxid und/oder Kalziumoxid und/oder Magnesiumoxid.

Durch geeignete Beschichtungsverfahren wie z.B. Elektronenstrahlverdampfen (EB-PVD) werden stängelförmige Körner in der Wärmedämmschicht erzeugt.

- 5 Die Leitschaufel 130 weist einen dem Innengehäuse 138 der Turbine 108 zugewandten Leitschaufelfuß (hier nicht dargestellt) und einen dem Leitschaufelfuß gegenüberliegenden Leitschaufelkopf auf. Der Leitschaufelkopf ist dem Rotor 103 zugewandt und an einem Befestigungsring 140 des Stators 143  
10 festgelegt.

- Die Figur 3 zeigt eine Brennkammer 110 einer Gasturbine. Die Brennkammer 110 ist beispielsweise als so genannte  
15 Ringbrennkammer ausgestaltet, bei der eine Vielzahl von in Umfangsrichtung um die Turbinenwelle 103 herum angeordneten Brennern 102 in einen gemeinsamen Brennkammerraum münden. Dazu ist die Brennkammer 110 in ihrer Gesamtheit als ringförmige Struktur ausgestaltet, die um die Turbinenwelle  
20 103 herum positioniert ist.

- Zur Erzielung eines vergleichsweise hohen Wirkungsgrades ist die Brennkammer 110 für eine vergleichsweise hohe Temperatur des Arbeitsmediums M von etwa 1000°C bis 1600°C ausgelegt. Um  
25 auch bei diesen, für die Materialien ungünstigen Betriebsparametern eine vergleichsweise lange Betriebsdauer zu ermöglichen, ist die Brennkammerwand 153 auf ihrer dem Arbeitsmedium M zugewandten Seite mit einer aus Hitzeschildelementen 155 gebildeten Innenauskleidung versehen. Jedes Hitzeschildelement 155 ist arbeitsmediumsseitig mit einer besonders hitzebeständigen Schutzschicht ausgestattet oder aus hochtemperaturbeständigem Material gefertigt. Aufgrund der hohen Temperaturen im Inneren der Brennkammer 110 ist zudem für die Hitzeschildelemente 155 bzw. für deren Halteelemente ein  
30 Kühlsystem vorgesehen.  
35

Die Materialien der Brennkammerwand 153 und deren Beschichtungen sind ähnlich der Turbinenschaufeln 120, 130.

Die Brennkammer 110 ist insbesondere für eine Detektion von  
5 Verlusten der Hitzeschildelemente 155 ausgelegt. Dazu sind zwischen der Brennkammerwand 153 und den Hitzeschildelementen 155 eine Anzahl von Temperatursensoren 158 positioniert.

10 Figur 4 zeigt die Ergebnisse eines Low-Cycle-Fatigue-Versuchs (LCF).

Bei einem Low-Cycle-Fatigue-Versuch wird eine bestimmte relative Dehnung  $\Delta\epsilon$  vorgegeben, d.h., die Probe wird mit  
15 vorgegebener relativer Dehnung wechselnd unter Zug oder Druck belastet.

Die Dehnung wird vorgegeben und der Versuch wird bei verschiedenen Temperaturen wie z.B. 850°C oder 950°C durchgeführt. Dabei wird die Anzahl der Zyklen N gemessen.  
20 Die maximale Anzahl von durchgeführten Zyklen bis zum Bruch der Probe ist in dem Diagramm aufgetragen.

So sind in dem Diagramm die Proben besser, die bei einer bestimmten Dehnung  $\Delta\epsilon$  die größere Anzahl von Zyklen aufweist. Die Versuche wurden durchgeführt mit einer Probe aus einer Legierung PWA 1483 mit einem minimalen Zinngehalt  $\leq 1$  ppm und  
25 einem Zinngehalt von 1110 ppm.

Die Kurven mit dem Gehalt von 1110 ppm Zinn zeigen höhere Zyklenanzahlen N als die der Proben ohne Zinn ( $\leq 1$  ppm).

30 Figur 5 zeigt die Versuchsergebnisse von High-Cycle-Fatigue-Versuchen bei 500°C.

Dabei werden bei einer bestimmten Temperatur und einer vorgegebenen Mittelspannung und einer vorgegebenen Anzahl von Zyklen verschiedene Wechsellastspannungen angelegt, um eine  
35 gewünschte Zyklenanzahl von  $10^8$  Zyklen (Dauerfestigkeit) zu erreichen.

Der Wert der Mittelspannung für die Probe ohne Zinn ist hier normiert auf 100% dargestellt.

Der Wert der erreichten Wechsellspannung für die Probe ohne Zinn ist ebenfalls normiert auf 100% dargestellt.

5

Dabei konnten die Proben mit Zinn (100ppm) sogar bei einer höheren Mittelspannung einer höheren Wechsellspannung ausgesetzt werden, um die gewünschte Zyklenanzahl von  $10^8$  Zyklen (Dauerfestigkeit) zu erreichen.

10

Figur 6 zeigt wie Figur 5 die Versuchsergebnisse bei einer höheren Temperatur von 800°C bei einer Mittelspannung von 0 MPa.

15 Der Wert der erreichten Wechsellspannung für die Probe ohne Zinn ist normiert auf 100% dargestellt.

Auch hier sind die Proben mit 100 ppm Zinn den Proben ohne Zinn überlegen.

20

Figur 7 zeigt wie Figur 6 die Versuchsergebnisse bei der Temperatur von 800°C bei einer Mittelspannung, die auf die Mittelspannung der Probe ohne Zinn normiert ist.

25 Der Wert der erreichten Wechsellspannung für die Probe ohne Zinn ist ebenfalls normiert auf 100% dargestellt.

Dabei konnten die Proben mit Zinn (100ppm) sogar bei einer höheren Mittelspannung einer höheren Wechsellspannung ausgesetzt werden, um die gewünschte Zyklenanzahl von  $10^8$  Zyklen (Dauerfestigkeit) zu erreichen.

30

## Patentansprüche

1. Bauteil (1) aus einer Legierung,  
die Ausscheidungen aufweist,  
5 dadurch gekennzeichnet, dass
- in der Legierung zumindest ein Festigkeitsförderer von  
50ppm bis 2000 ppm enthalten ist,  
10 der die Festigkeit des Bauteils (1) aus der Legierung  
fördert,  
insbesondere durch verstärkte Bildung der Ausscheidungen,  
wobei der zumindest eine Festigkeitsförderer ausgewählt  
wird aus der Gruppe Zink (Zn), Zinn (Sn), Blei (Pb),  
15 Gallium (Ga), Kalzium (Ca), Selen (Se), Arsen (As),  
Wismut (Bi), Neodym (Nd), Praseodym (Pr), Aluminiumoxid  
( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Magnesia ( $\text{MgO}$ ), Hafnia ( $\text{HfO}_2$ ), Zirkonia ( $\text{ZrO}_2$ ),  
Spinelle ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ), Karbide oder Nitride.
- 20 2. Bauteil nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass
- das Bauteil (1) aus einer Nickel-, Kobalt- oder Eisen-  
25 Basis-Superlegierung besteht.
3. Bauteil nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass
- 30 bis 1100 ppm Festigkeitsförderer in der Legierung  
enthalten sind.

35

4. Bauteil nach Anspruch 1 oder 3,  
dadurch gekennzeichnet, dass
- 100 bis 500 ppm Festigkeitsförderer in der Legierung  
5 enthalten sind.
5. Bauteil nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass
- 10 etwa 100 ppm Festigkeitsförderer in der Legierung  
enthalten sind.
- 15 6. Bauteil nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass
- der Festigkeitsförderer metallisch ist.
- 20 7. Bauteil nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass
- der Festigkeitsförderer keramisch ist.
- 25 8. Bauteil nach Anspruch 2,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Legierung außer dem Festigkeitssteigerer folgende  
30 Elemente in wt% umfasst:
- 11 -13 % Chrom  
3 - 5 % Wolfram  
0,5-2,5 % Molybdän  
3 - 5 % Aluminium  
35 3 - 5 % Titan  
3 - 7 % Tantal  
0 - 12 % Kobalt



- 0 - 1 % Niob  
0 - 2 % Hafnium  
0 - 1 % Zirkon  
0 - 0.05% Bor  
5 0 - 0.2 % Kohlenstoff  
0,1 - 10 % Rhenium oder Ruthenium  
Rest Nickel, Kobalt oder Eisen und Verunreinigungen.
- 10 9. Hochtemperaturbeständiges Bauteil (1) nach Anspruch 2,  
dadurch gekennzeichnet, dass
- die Legierung außer dem Festigkeitssteigerer folgende  
Elemente in wt% umfasst:
- 15 9- <11 % Chrom  
3 - 5 % Wolfram  
0,5-2,5 % Molybdän  
3 - 5 % Aluminium, insbesondere 3 - <3,5% Aluminium,  
3 - 5 % Titan  
20 3 - 7 % Tantal  
0 - 12 % Kobalt  
0 - 1 % Niob  
0 - 2 % Hafnium  
0 - 1 % Zirkon  
25 0 - 0.05% Bor  
0 - 0.2 % Kohlenstoff  
0.1 - 5 % Ruthenium, Rhenium  
Rest Nickel, Kobalt oder Eisen und Verunreinigungen.
- 30
10. Bauteil nach Anspruch 8 oder 9  
bei dem der Rhenium-Gehalt mindestens 1,3 wt% beträgt.

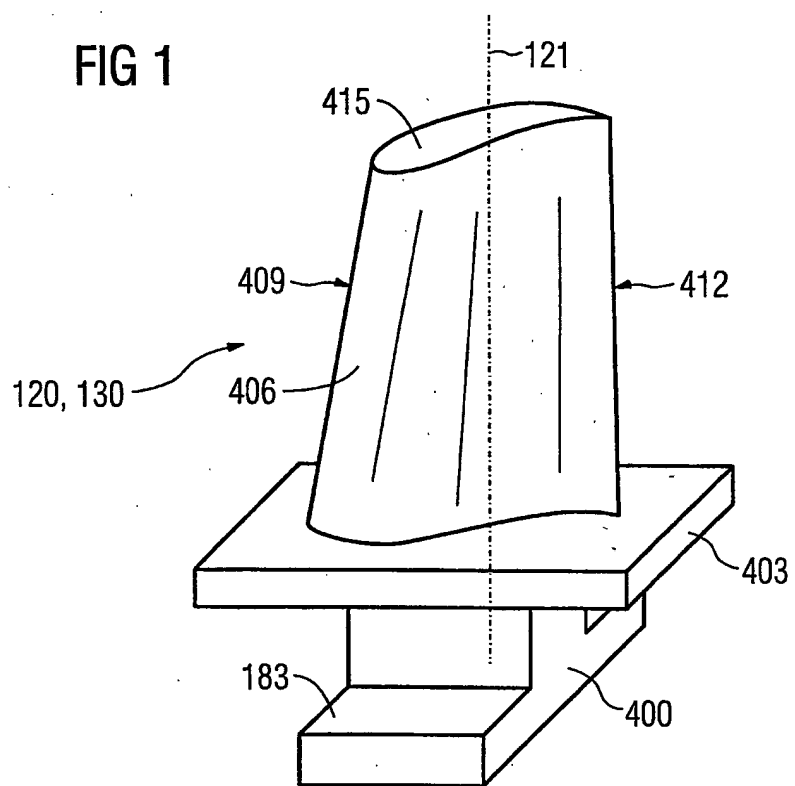
35

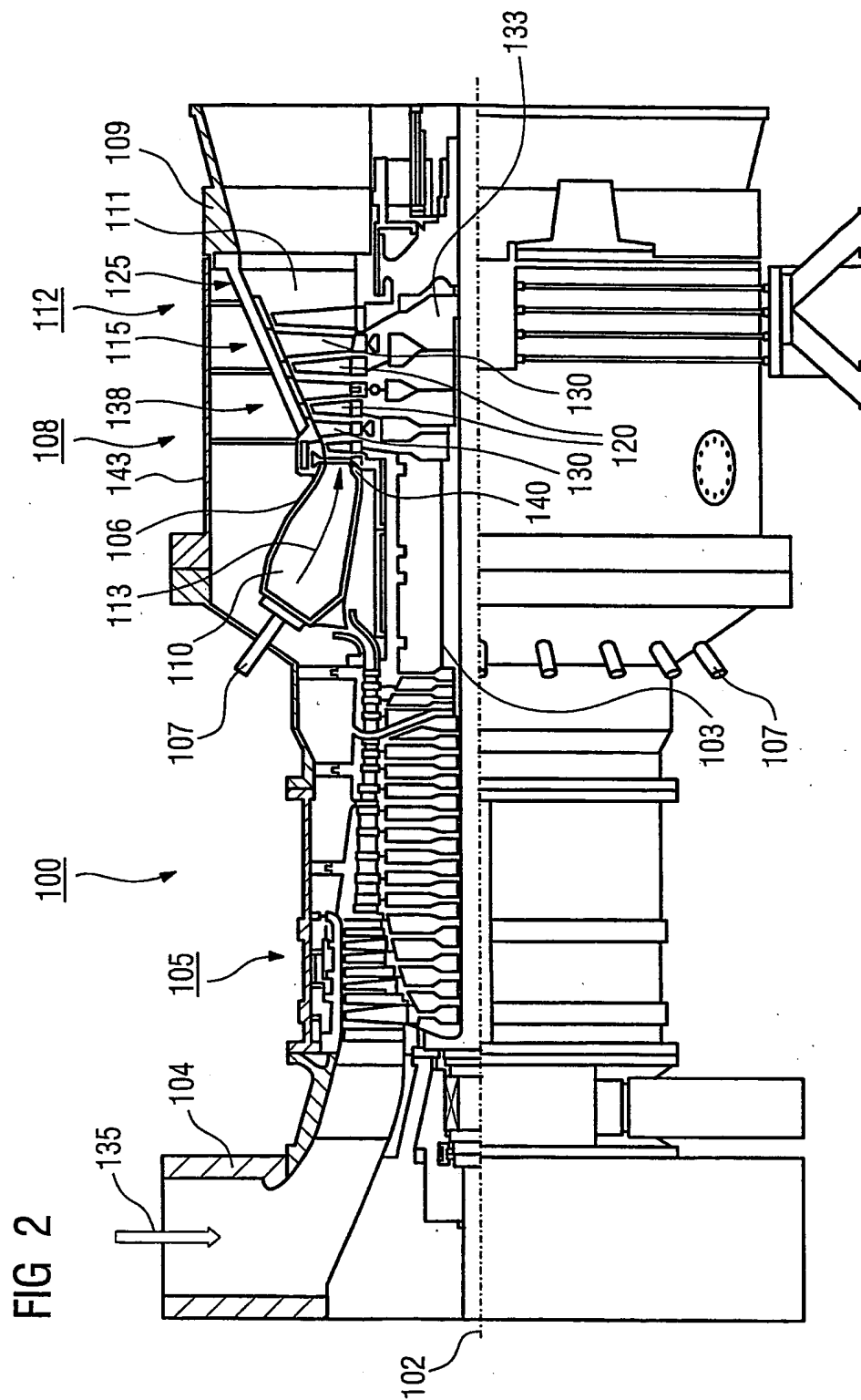
11. Bauteil nach Anspruch 8, 9 oder 10,  
mit einem maximalen Ruthenium-Gehalt der Superlegierung  
von 3 wt%.
- 5 12. Bauteil nach Anspruch 8 oder 9,  
mit einem minimalen Ruthenium-Gehalt der Superlegierung  
von 0,5 Gewichtsprozent.
- 10 13. Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
das eine gerichtet erstarrte Kornstruktur (9) aufweist.
- 15 14. Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
das eine einkristalline Struktur aufweist.
- 20 15. Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
das eine isotrope Verteilung der Orientierungen der  
Kornstruktur aufweist.
- 25 16. Bauteil nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
das als Turbinenschaufel, insbesondere als  
Gasturbinenschaufel (120, 130) ausgebildet ist.
- 30 17. Bauteil nach einem der vorhergehende Ansprüche,  
das als Brennkammerteil (155) ausgebildet ist.
- 35 18. Bauteil nach Anspruch 2, 8 oder 9,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Ausscheidung die  $\gamma'$ -Phase ist.

19. Bauteil nach Anspruch 1, 3, 4 oder 5  
dadurch gekennzeichnet, dass

- 5      der Festigkeitsförderer einen minimalen Wert von 50 ppm,  
insbesondere 75 ppm aufweist.

FIG 1







4/5

FIG 4

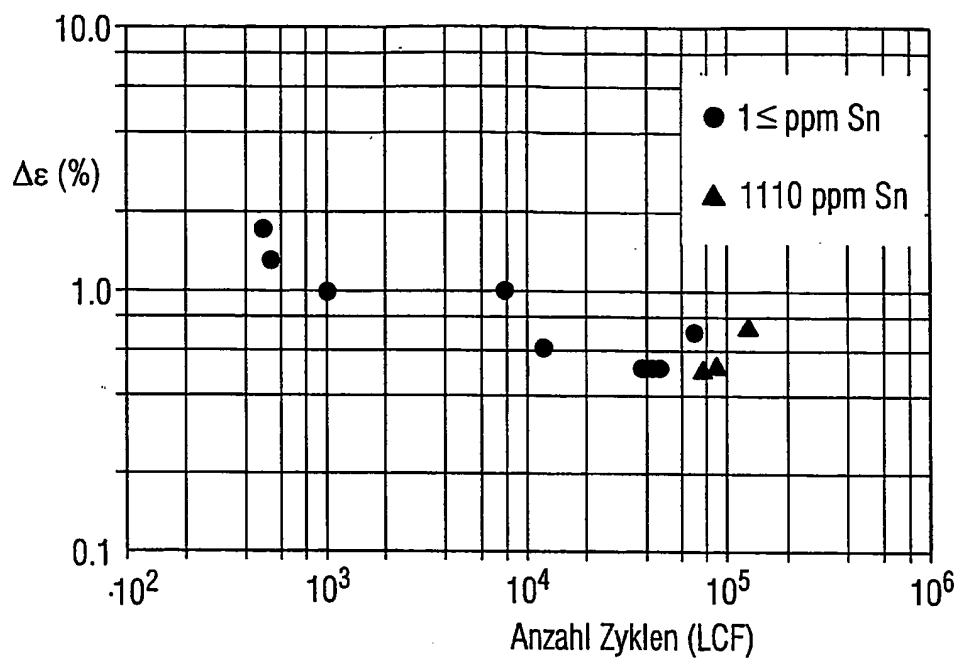
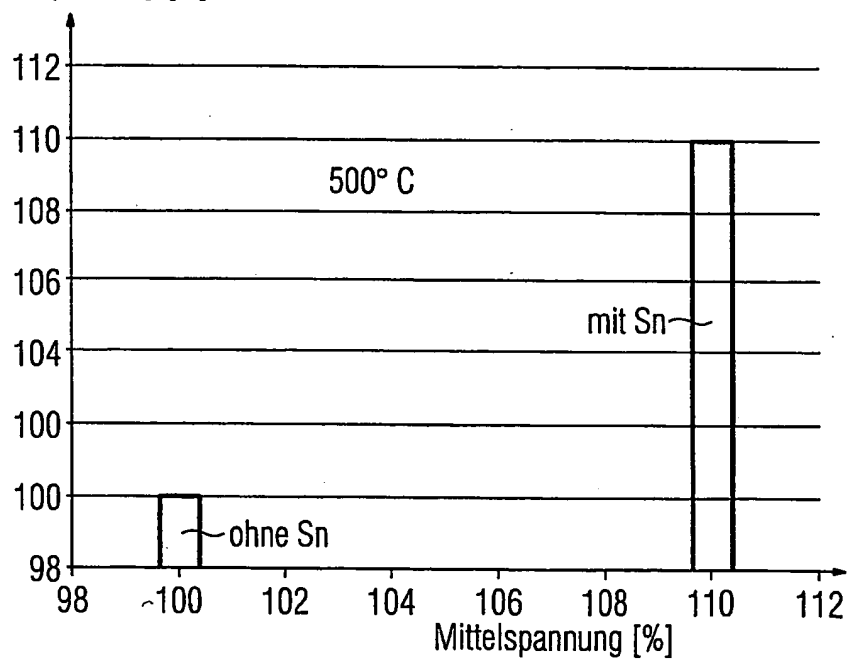
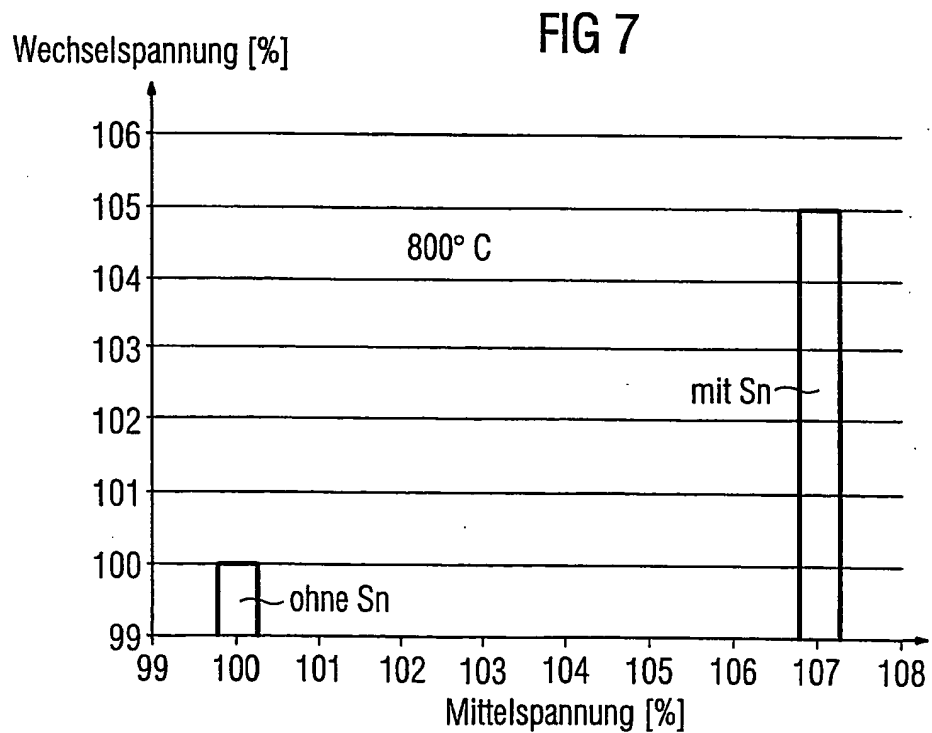
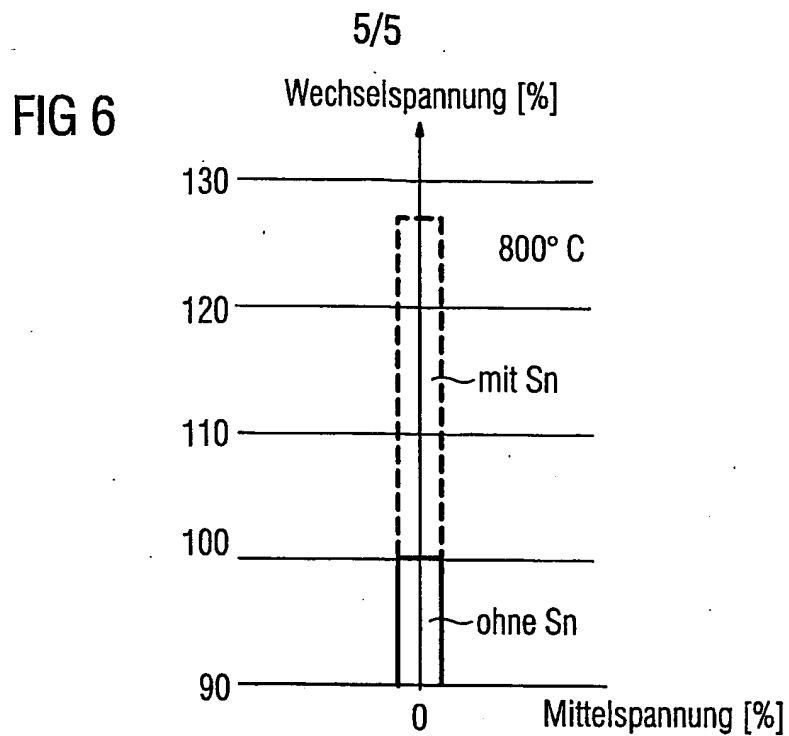


FIG 5







**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**